

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-235654

(43)Date of publication of application : 09.09.1997

(51)Int.Cl. C22C 38/00
C22C 38/60

(21)Application number : 08-040801 (71)Applicant : SUMITOMO METAL IND LTD
(22)Date of filing : 28.02.1996 (72)Inventor : IZUMI KOJI
SAKAMOTO MASAKI
NISHIDA KAZUHIKO

(54) STEEL FOR INDUCTION HARDENING AND INDUCTION HARDENED PART

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a steel for induction hardening and induction hardened parts, excellent in bending resistance, torsion resistance, and impact resistance.

SOLUTION: The steel for induction hardening has a composition consisting of, by weight, 0.25-0.60% C, 0.50-1.50% Mn, 0.010-0.100% Al, 0.005-0.030% N, 0-1.00% Si, 0-1.20% Cr, 0-0.50% Mo, 0-0.30% Nb, 0-0.50% V, 0-0.30% Ti, 0-0.0030% B, 0-0.30% Pb, 0-0.0100% Ca, 0-0.03% Bi, 0-0.10% Te, $\leq 0.015\%$ P, $\leq 0.015\%$ S, and the balance Fe with inevitable impurities and satisfying $C1.5+7N+60P+25S-4Al-2Cr-Mo-7Nb-6V-8Ti-50B \leq 1.25$ and $20S+1.5Pb+30Ca+16Bi+3Te \leq 1.00$. Further, the induction hardened parts are produced by using the above steel as a stock and have a core part having austenite crystalline grain size of JIS grain size number 6 or above.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 05.02.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 01.03.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-235654

(43) 公開日 平成9年(1997)9月9日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00 38/60	3 0 1		C 2 2 C 38/00 38/60	3 0 1 Z

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願平8-40801	(71) 出願人	000002118 住友金属工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
(22) 出願日	平成8年(1996)2月28日	(72) 発明者	和泉 康治 福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友 金属工業株式会社小倉製鉄所内
		(72) 発明者	坂本 雅紀 福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友 金属工業株式会社小倉製鉄所内
		(72) 発明者	西田 和彦 福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友 金属工業株式会社小倉製鉄所内
		(74) 代理人	弁理士 森 道雄 (外1名)

(54) 【発明の名称】 高周波焼入れ用鋼及び高周波焼入れ部品

(57) 【要約】

【課題】耐曲げ性、耐ねじり性及び耐衝撃性に優れた高周波焼入れ用鋼と高周波焼入れ部品を提供する。

【解決手段】①重量%で、C : 0.25~0.60%、Mn : 0.50~1.50%、Al : 0.010 ~ 0.100%、N : 0.005~ 0.030%、Si : 0~1.00%、Cr : 0~1.20%、Mo : 0 ~0.50%、Nb : 0~0.30%、V : 0~0.50%、Ti : 0~0.30%、B : 0~0.0030%、Pb : 0~0.30%、Ca : 0~0.0100%、Bi : 0~0.03%、Te : 0~0.10%、P : 0.015 %以下、S : 0.015%以下を含有し、残部はFe及び不可避免不純物からなり、 $C^{1.5} + 7N + 60P + 25S - 4Al - 2Cr - Mo - 7Nb - 6V - 8Ti - 50B \leq 1.25$ 及び $20S + 1.5Pb + 30Ca + 16Bi + 3Te \leq 1.00$ である高周波焼入れ用鋼。②素材が①の鋼で、芯部が JIS 粒度番号 6 以上のオーステナイト結晶粒度である耐曲げ性・耐ねじり性・耐衝撃性に優れた高周波焼入れ部品。

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】重量%で、C:0.25~0.60%、Mn:0.50~1.50%、Al:0.010~0.100%、N:0.005~0.030%、Si:0~1.00%、Cr:0~1.20%、Mo:0~0.50%、Nb:0~0.30%、V:0~0.50%、Ti:0~0.30%、B:0~0.0030%、Pb:0~0.30%、Ca:0~0.0100%、Bi:0~0.03%、Te:0~0.10%、P:0.015%以下、S:0.015%以下を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、且つ、下記 $f_{n1} \leq 1.25$ 及び $f_{n2} \leq 1.00$ であることを特徴とする高周波焼入れ用鋼。

$$f_{n1} = C^{1.5} + 7N + 60P + 25S - 4Al - 2Cr - Mo - 7Nb - 6V - 8Ti - 50B,$$

$$f_{n2} = 20S + 1.5Pb + 30Ca + 16Bi + 3Te,$$

但し、上記の式における元素記号はその元素の重量%での含有量を表す。

【請求項2】素材が、請求項1に記載の鋼であって、高周波焼入れ後の芯部がJIS粒度番号で6番以上のオーステナイト結晶粒度である耐曲げ性・耐ねじり性・耐衝撃性に優れた高周波焼入れ部品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高周波焼入れ用鋼とこれを素材とする高周波焼入れ部品に関し、より詳しくは機械構造用部品に用いられる高周波焼入れ用鋼と高周波焼入れ後の耐曲げ性・耐ねじり性・耐衝撃性に優れた高周波焼入れ部品に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、構造体の軽量化や高剛性化の目的から、機械構造用部品に対して高強度化の要求が大きくなってきており、表面層の強化を目的に表面硬化処理を行った機械構造用部品が各種の構造体に多数使用されている。

【0003】表面硬化処理としては浸炭焼入れ、窒化、高周波焼入れや炎焼入れなどの処理が知られている。これらの表面硬化処理の中で、特に高周波焼入れは他の処理法に比べて局部処理が容易であり、且つ短時間・無公害・低コストで処理が可能のため、各種の機械構造用部品への適用が広がっている。

【0004】例えば、自動車や産業機械用の歯車やシャフト類には、エンジンの高トルク化に伴う高いねじり強度及び曲げ強度が要求され、又、自動車の急発進などによるトルク伝達時の急激な衝撃力増加の問題から、高い耐衝撃性や耐衝撃疲労性が求められる。こうした要求を満たすため、従来、中炭素系のJIS機械構造用炭素鋼(S45Cなど)や合金鋼(SCr440やSCM440など)を素材として各種の歯車やシャフト類を加工

2

し、これに高周波焼入れを施して製品とすることが多かった。

【0005】しかし、上記の機械構造用炭素鋼を素材とした場合には、形状の複雑な部品に高周波焼入れ処理を施すと硬化層のバラツキを生じることが多い。又、上記の合金鋼を素材として部品を加工した場合には、焼入れ性の改善が図れ深い硬化層が得られるもののコスト高になることは避けられない。更に、高強度化した場合には、曲げ試験、ねじり試験及び衝撃試験における亀裂発生部はいずれも粒界であることが多く、機械的性質は必ずしも向上するものではなかった。

【0006】上記のような問題から、中炭素系のJIS機械構造用炭素鋼や合金鋼を素材とする機械構造用部品を高周波焼入れして高強度化するには限界があった。

【0007】こうした状況の下、特開昭60-169547号公報には表面硬化層の焼戻し軟化抵抗を高め、浸炭焼入れ材以上の優れた耐摩耗性と耐疲労性を有する「高周波焼入れ用鋼」が提案されている。又、特開平6-93374号公報にはCr、Niなどを添加して鋼の焼入れ性を高めてねじり強度あるいは曲げ強度などの静的強度を向上させ、酸化物系介在物、TiN介在物、P及びSを低減して転がり接触疲労強度を高めた「高強度高周波焼入れ用鋼」が開示されている。

【0008】しかし、上記の各公報に記載の鋼を素材として用いても、破損亀裂の発生や伝播の抑制に対しては必ずしも充分とはいえず、又、耐衝撃性に問題を有する場合もあった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記現状に鑑みなされたもので、低コスト型の耐曲げ性・耐ねじり性・耐衝撃性に優れた高周波焼入れ部品及びその素材となる高周波焼入れ用鋼の提供を課題とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者は、上記の課題を解決するため、高周波焼入れ部品の素材となる鋼材の化学組成並びに高周波焼入れ部品の組織について調査・検討を行った。その結果、下記の事項が明らかとなった。

【0011】①高周波焼入れした表面硬化部品に曲げ、ねじり、衝撃などの外力が加わった際に生ずる亀裂は、高周波焼入れした最表層部から発生し、その起点部は粒界破壊である。そして、この粒界破壊の発生頻度は表層の硬化部が高硬度(高強度)になればなるほど高くなり、亀裂が進展して破損に至る。従って、この初期亀裂の発生限界応力を高めることが高周波焼入れした表面硬化部品の破損防止につながる。

【0012】②粒界破壊における初期亀裂の発生と亀裂の進展を共に抑制するには粒界を強化すれば良い。粒界強化には、C、N、P、S、Al、Cr、Mo、Nb、V、Ti及びBの含有量を調整すれば良く、これによ

て耐曲げ性、耐ねじり性及び耐衝撃性の向上を図ることができる。

【0013】③外力が加わることで高周波焼入れ最表層部から発生した亀裂は、表層から内部（芯部）へと伝播・進展し、最終的な破損につながる。従って、亀裂の進展を抑制し破損を防止するためには、亀裂の伝播速度を小さくすると共に伝播に対する抵抗性を高める必要がある。このためには、高周波焼入れの硬化層及び芯部の組織を細粒にすることが破面単位を小さくする上から有効な手段となる。

【0014】④特に芯部における旧オーステナイト粒が、JIS粒度番号で6番以上のオーステナイト結晶粒度であれば、芯部における亀裂進展の伝播速度は小さくすると共に伝播に対する抵抗性が大きくなる。

【0015】⑤上記した組織の細粒化は粒界面積の増大につながる。これは、粒界の単位面積当たりに存在する粒界脆化元素の存在比率を減少させることになり、粒界脆化の防止につながる。

【0016】⑥歯車やシャフト類の高周波焼入れ部品は、高周波焼入れに先立って切削加工を受けることが多い。そのため素材鋼には被削性を高めるためにS、P、Ca、BiやTeといった快削元素を添加する場合がある。ところが前記した快削元素は単体あるいは酸化物系介在物として鋼中に存在するため母材強度（素材鋼の強度）、なかでも衝撃強度を劣化させてしまう。従って、被削性向上元素（快削元素）を添加する場合にはその含有量を制御することが重要である。

【0017】⑦高周波焼入れ部品は焼入れ後、焼入れ歪を除去するために焼戻し処理を施されることが多い。又、歯車などの使用環境は高温になることも多い。従って、析出硬化元素を添加しておけば母材強度の向上が期待できる。この効果を得るためにはNb、VやTiを適正量含有させれば良い。

【0018】上記知見に基づく本発明は下記（1）の高周波焼入れ用鋼及び（2）の耐曲げ性・耐ねじり性・耐衝撃性に優れた高周波焼入れ部品を要旨とする。

【0019】（1）重量%で、C：0.25～0.60%、Mn：0.50～1.50%、Al：0.010～0.100%、N：0.005～0.030%、Si：0～1.00%、Cr：0～1.20%、Mo：0～0.50%、Nb：0～0.30%、V：0～0.50%、Ti：0～0.30%、B：0～0.0030%、Pb：0～0.30%、Ca：0～0.0100%、Bi：0～0.03%、Te：0～0.10%、P：0.015%以下、S：0.015%以下を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、且つ、下記 $f_{n1} \leq 1.25$ 及び $f_{n2} \leq 1.00$ であることを特徴とする高周波焼入れ用鋼。

【0020】 $f_{n1} = C^{1.5} + 7N + 60P + 25S - 4Al - 2Cr - Mo - 7Nb - 6V - 8Ti - 50$

B、

$$f_{n2} = 20S + 1.5Pb + 30Ca + 16Bi + 3Te、$$

但し、上記の式における元素記号はその元素の重量%での含有量を表す。

【0021】（2）素材が、上記（1）に記載の鋼であって、高周波焼入れ後の芯部がJIS粒度番号で6番以上のオーステナイト結晶粒度である耐曲げ性・耐ねじり性・耐衝撃性に優れた高周波焼入れ部品。

10 【0022】なお、高周波焼入れ後の「芯部」とは高周波焼入れによって硬化していない部分のことをいう。

【0023】又、「芯部がJIS粒度番号で6番以上のオーステナイト結晶粒度である」とは、「芯部における旧オーステナイト粒がJIS粒度番号で6番以上のオーステナイト結晶粒度である」ことを意味する。以下、「芯部オーステナイト粒」などは「芯部における旧オーステナイト粒」などのことを指すものとする。

【0024】

【発明の実施の形態】以下に本発明の各要件について説明する。なお、成分含有量の「%」は「重量%」を意味する。

【0025】（A）鋼材の化学組成

C：Cは焼入れ性を確保して、高周波焼入れによる所望の表面硬さと硬化深さを得るために必須の元素である。このためにはCを0.25%以上含有させる必要がある。しかし、0.60%を超えて含有させても焼入れ硬さが飽和するばかりか、被削性の低下と硬化層の靱性の劣化を招く。この硬化層の靱性劣化は、高周波焼入れ部品の曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度を著しく劣化させてしまう。従って、Cの含有量を0.25～0.60%とした。

【0026】Mn：Mnは鋼の脱酸に必要な元素であると同時に鋼の焼入れ性を高めて、所望の硬化層深さ（ピッカース硬度で400となる深さが硬化層の表面から2mm以上）を付与するのに必須の元素である。しかしその含有量が0.50%未満では添加効果に乏しく、一方、1.50%を超えると加工性や被削性の極端な劣化をきたすようになるので、Mnの含有量を0.50～1.50%とした。

40 【0027】Al：Alは鋼の脱酸の安定化及びNと反応してAlNを形成し高周波焼入れ時の結晶粒粗大化を防止する作用がある。しかし、その含有量が0.010%未満では所望の効果が得られず、0.100%を超えると却って結晶粒の粗大化をきたすと共に被削性の劣化を招くようになる。特に、結晶粒が粗大化すると、高周波焼入れ部品の曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が著しく劣化してしまう。従って、Al含有量を0.010～0.100%とした。

50 【0028】N：NはAl、V、Nb、Tiなどと反応して窒化物や炭窒化物を形成し、結晶粒を微細化するの

に有効な元素である。又、析出硬化による強度向上の作用も有する。しかし、その含有量が0.005%未満では添加効果に乏しく、一方、0.030%を超えて含有しても前記効果が飽和するばかりでなく、被削性の劣化を招くこととなるので、その含有量を0.005~0.030%とした。

【0029】Si: Siは添加しなくても良い。添加すれば鋼の脱酸作用並びに焼入れ性を高める作用がある。こうした効果を確実に得るには、Siは0.02%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が1.00%を超えると被削性が著しく劣化する。従って、Siの含有量を0~1.00%とした。

【0030】Cr: Crは添加しなくても良い。添加すれば鋼の焼入れ性が向上し、所望の硬化層深さが確保できると共に母材の靱性が向上する。この効果を確実に得るには、Crは0.2%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が1.20%を超えると前記効果が飽和してコストの上昇を招くばかりとなる。従って、Crの含有量を0~1.20%とした。

【0031】Mo: Moも添加しなくても良い。添加すれば鋼の焼入れ性が向上すると共に、靱性を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Moは0.05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.50%を超えると前記効果が飽和してコストの上昇を招くばかりとなる。従って、Moの含有量を0~0.50%とした。

【0032】Nb: Nbは添加しなくても良い。添加すれば鋼中のC、Nと反応して炭窒化物、窒化物を形成し、高周波焼入れ時の粗粒化を防止すると共に、析出硬化により強度を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Nbは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.30%を超えると、却って結晶粒の粗大化をきたすと共に被削性の劣化を招くようになる。特に、結晶粒が粗大化すると、高周波焼入れ部品の曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が著しく劣化してしまう。従って、Nbの含有量を0~0.30%とした。

【0033】V: Vも添加しなくても良い。添加すれば鋼中のC、Nと反応して炭窒化物、窒化物を形成し、高周波焼入れ時の粗粒化を防止すると共に、析出硬化により強度を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Vは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.50%を超えると、逆に結晶粒の粗大化をきたすと共に被削性の劣化を招くようになる。特に、結晶粒が粗大化すると、高周波焼入れ部品の曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が著しく劣化してしまう。従って、Vの含有量を0~0.50%とした。

【0034】Ti: Tiは添加しなくても良い。添加すれば鋼中のC、Nと反応して炭窒化物、窒化物を形成

し、高周波焼入れ時の粗粒化を防止すると共に、析出硬化により強度を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Tiは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.30%を超えると、却って結晶粒の粗大化をきたすと共に被削性の劣化を招くようになる。特に、結晶粒が粗大化すると、高周波焼入れ部品の曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が著しく劣化してしまう。従って、Tiの含有量を0~0.30%とした。

【0035】B: Bは添加しなくても良い。添加すれば固溶Bとしてオーステナイト粒界に偏析して鋼の焼入れ性を高めると共に、Pなどの不純物元素の粒界への偏析を抑制して靱性を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Bは0.0003%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.0030%を超えると前記効果が飽和して経済性を損なうばかりか、却って焼入れ性の低下をきたして、曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度の著しい劣化をもたらす場合もある。

【0036】従って、Bの含有量を0~0.0030%とした。

【0037】Pb: Pbは添加しなくても良い。添加すれば被削性を高める作用がある。焼入れ前に部品加工を行う際に、前記の効果を確実に得るためにはPbは0.02%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.30%を超えると前記効果が飽和して経済性を損なうばかりか、曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が劣化するようになる。更に、熱間加工性の劣化をもたらす熱間圧延や熱間鍛造時に割れの発生を招く。従って、Pbの含有量を0~0.30%とした。

【0038】Ca: Caは添加しなくても良い。添加すれば被削性を高める作用がある。焼入れ前の部品加工を行う際、前記の効果を確実に得るためにはCaは0.001%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.0100%を超えると前記効果が飽和してコストの上昇を招くばかりか、曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が劣化するようになる。更に、熱間加工性を劣化させて熱間圧延や熱間鍛造時に割れの発生を招く。従って、Ca含有量を0~0.0100%とした。

【0039】Bi: Biも添加しなくても良い。添加すれば被削性を高める作用がある。焼入れ前に部品加工を行う際に、前記の効果を確実に得るためにはBiは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.03%を超えると前記効果が飽和してコストの上昇を招くばかりか、曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が劣化するようになる。更に、熱間加工性の劣化をもたらす熱間圧延や熱間鍛造時に割れの発生を招く。従って、Bi含有量を0~0.03%とした。

【0040】Te: Teは添加しなくても良い。添加すれば被削性を高める作用がある。焼入れ前の部品加工を行う際、前記の効果を確実に得るためにはTeは0.0

7

1%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.10%を超えると前記効果が飽和して経済性を損なうばかりか、曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が劣化ようになる。更に、熱間加工性を劣化させて熱間圧延や熱間鍛造時に割れの発生を招く。従って、Teの含有量を0~0.10%とした。

【0041】P:Pは高周波焼入れ時にオーステナイト粒界に偏析し、浸炭層の強度を著しく劣化させてしまう。特に、その含有量が0.015%を超えると曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度の著しい劣化をきたす。従って、不純物元素としてのP含有量の上限を0.015%とした。なお、Pの含有量は0.010%以下とすることが好ましい。

【0042】S:Sは結晶粒界に残存して粒界強度を著しく劣化させると共に母材部にMnSとして存在し、曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度を低下させる。特に、その含有量が0.015%を超えると曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度の著しい劣化をきたす。従って、不純物元素としてのS含有量の上限を0.015%とした。なお、Sの含有量は0.010%以下とすることが好ましい。

【0043】fn1:高周波焼入れ部品の耐曲げ性、耐ねじり性及び耐衝撃性は粒界を強化して粒界破壊における初期亀裂の発生と亀裂の進展を共に抑制することで高めることができる。高周波焼入れ後の粒界強度、なかでも硬化層の粒界強度は前記fn1で整理できる。そして、この値が1.25を超えると、硬化層の粒界強度は著しく低下して、曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が大きく劣化する。なお、fn1の下限値には特に制限はなく、fn1の式から求められる最小値(-10.8)でも良い。

【0044】fn2:快削元素を添加する場合、前記fn2の値が1.00を超えると高周波焼入れ後の曲げ強度、ねじり強度及び衝撃強度が大きく劣化する。従って、fn2の上限を1.00とした。なお、fn2の下限値に制限はないが、被削性を考慮して0.50程度とすることが好ましい。

【0045】上記の化学組成を有する高周波焼入れ用鋼の鋼片は、例えば、熱間で丸棒に圧延又は鍛造された後に焼準され、次いで、機械加工を施されて所要の高周波焼入れ部品に加工され、更にその後、通常の方法で高周波焼入れされる。なお、低温で焼戻しを行うと硬度の大きな低下を伴わずに靱性を改善できるので高周波焼入れ後に必要に応じて焼戻しされても良い。焼戻しされる場合は、通常の方法によれば良いが、硬度を確保するためにその温度は150~200℃であることが好ましい。

【0046】(B)高周波焼入れ後の芯部のオーステナイト結晶粒度

8

高周波焼入れした時の部品の芯部オーステナイト粒は、外力が加わることで高周波焼入れ最表層部で発生した亀裂が、高周波焼入れの硬化層から芯部へと伝播・進展して最終的な破損に至る過程において、芯部での伝播速度と伝播に対する抵抗性に影響を及ぼす。

【0047】芯部オーステナイト粒がJIS粒度番号で6番以上のオーステナイト結晶粒度の場合に、小さな破面単位が得られ亀裂進展が抑制されて破損の防止につながる。そして、良好な耐曲げ性、耐ねじり性及び耐衝撃性が得られる。

【0048】高周波焼入れ後の硬化層のオーステナイト結晶粒は、芯部オーステナイト結晶粒より小さい。従って、芯部オーステナイト粒がJIS粒度番号で6番以上の場合には、次の副次的効果も生じる。すなわち、硬化層のオーステナイト粒は極めて微細となるため硬化層における粒界の単位面積当たり存在する粒界脆化元素の存在比率が減少して粒界の脆化が抑制され、外力が加わった際の亀裂発生が抑えられる。又、たとえ亀裂が発生しても、硬化層の破面単位は極めて小さいので硬化層における亀裂の伝播・進展が抑制される。

【0049】従って、高周波焼入れ後の芯部のオーステナイト結晶粒度をJIS粒度番号で6番以上と規定した。

【0050】なお、芯部のオーステナイト結晶粒度番号はできるだけ大きくすること、換言すれば、結晶粒をできるだけ小さくすることが好ましく、粒度番号の上限は特に規定されるものではない。

【0051】前記(A)の化学組成を有する鋼について、高周波焼入れ後の芯部オーステナイト粒をJIS粒度番号で6番以上となすには、例えば、通常の熱間での圧延又は鍛造の後に830~1100℃の温度域で焼準を施しておけば良い。焼準温度域を850~1050℃、好ましくは850~1000℃とすることで、芯部オーステナイト粒を一層細粒とすることが可能である。

【0052】

【実施例】

(実施例1)表1~4に示す化学組成を有する鋼を通常の方法により3トン試験炉を用いて溶製した。表1、2における鋼1~18は本発明鋼、表2~4における鋼19~47は成分のいずれかが本発明で規定する含有量の範囲から外れた比較鋼である。なお、比較鋼における鋼45、46及び47はそれぞれ従来型のJIS規格鋼としてのS45C、SCr440及びSCM440に相当する鋼である。

【0053】

【表1】

表 1

区 分	鋼	化 学 組 成 (重量%)										残部：Feおよび不純物									
		C	Mn	Al	N	Si	Cr	Mo	Nb	V	Ti	B	Pb	Ca	Bi	Te	P	S	fn1	fn2	
本 発 明 鋼	1	0.58	0.87	0.055	0.0082	0.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.010	0.010	1.13	0.20	
	2	0.40	0.92	0.065	0.0215	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.012	0.011	1.14	0.08	
	3	0.34	0.80	0.099	0.0154	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.008	0.59	0.16	
	4	0.55	1.24	0.092	0.0289	0.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.013	0.009	1.25	0.18	
	5	0.51	1.47	0.063	0.0150	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.007	0.69	0.14	
	6	0.47	1.06	0.023	0.0061	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.011	0.004	1.03	0.08	
	7	0.30	0.78	0.056	0.0120	0.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.007	0.012	0.74	0.24	
	8	0.37	1.45	0.085	0.0250	0.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.013	0.69	0.26	
	9	0.55	1.09	0.065	0.0098	0.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.012	0.007	1.11	0.14	
	10	0.53	0.89	0.059	0.0084	0.74	-	0.11	-	0.310	-	0.0014	-	-	-	-	0.014	0.006	-0.84	0.12	
	11	0.35	0.61	0.067	0.0121	0.94	1.13	-	0.006	-	0.007	0.0009	-	-	-	-	0.009	0.009	-1.82	0.18	
	12	0.57	1.48	0.081	0.0189	0.45	-	0.37	0.270	0.009	-	-	-	-	-	-	0.011	0.013	-0.72	0.26	

fn1=C(%) + 7N(%) + 60P(%) + 25S(%) - 4Al(%) - 2Cr(%) - Mo(%) - 7Nb(%) - 6V(%) - 8Ti(%) - 50B(%)

fn2=20S(%) + 1.5Pb(%) + 30Ca(%) + 16Bi(%) + 3Te(%)

【0054】

20 【表2】
表 2

区 分	鋼	化 学 組 成 (重量%)										残部：Feおよび不純物									
		C	Mn	Al	N	Si	Cr	Mo	Nb	V	Ti	B	Pb	Ca	Bi	Te	P	S	fn1	fn2	
本 発 明 鋼	13	0.39	0.68	0.095	0.0170	0.84	-	-	-	-	-	-	0.0013	-	0.078	0.009	0.005	0.65	0.37		
	14	0.34	0.51	0.042	0.0103	0.27	-	-	-	-	-	0.09	-	0.007	-	0.014	0.009	1.17	0.43		
	15	0.54	0.74	0.032	0.0095	0.29	-	-	-	-	-	0.17	-	0.024	0.044	0.010	0.011	1.21	0.99		
	16	0.80	1.35	0.021	0.0071	0.77	0.54	-	-	0.111	-	0.0019	-	-	0.013	0.097	0.012	0.011	0.66	0.72	
	17	0.41	1.17	0.087	0.0205	0.59	0.11	0.49	-	-	-	-	-	-	-	0.075	0.003	0.007	0.41	0.37	
	18	0.54	1.41	0.057	0.0190	0.17	0.76	-	-	0.094	0.283	0.0027	0.13	0.0055	0.017	0.032	0.014	0.013	-1.34	0.99	
	19	*0.24	0.78	0.015	0.0089	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.013	0.005	1.02	0.10	
	20	*0.65	1.35	0.087	0.0167	0.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.009	0.82	0.18	
	21	0.41	1.08	0.034	0.0257	*1.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.012	1.09	0.24	
	22	0.30	*0.45	0.032	0.0140	0.75	0.20	-	-	0.055	-	0.0021	-	-	-	-	0.004	0.011	-1.28	0.22	
	23	0.48	*1.53	0.029	0.0180	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.007	0.004	0.87	0.08	
	24	0.34	1.20	0.095	0.0110	0.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*0.020	0.005	1.22	0.10	

*印は本発明で定める範囲から外れていることを示す。

$fn1 = C(\%) + 7N(\%) + 60P(\%) + 25S(\%) - 4Al(\%) - 2Cr(\%) - Mo(\%) - 7Nb(\%) - 6V(\%) - 8Ti(\%) - 50B(\%)$

$fn2 = 20S(\%) + 1.5Pb(\%) + 30Ca(\%) + 16Bi(\%) + 3Te(\%)$

【0055】

【表3】

表 3

区分	鋼	化 学 組 成 (重量%)										残部：Feおよび不純物									
		C	Mn	Al	N	Si	Cr	Mo	Nb	V	Ti	B	Pb	Ca	Bi	Te	P	S	fn1	fn2	
比	25	0.32	1.00	0.018	0.0070	0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.011	*0.017	1.24	0.34	
	26	0.39	1.41	*0.008	0.0280	0.92	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-	0.008	0.009	1.11	0.29	
	27	0.53	1.04	*0.114	0.0140	0.47	-	0.35	0.021	0.009	-	0.0010	-	*0.0170	-	0.084	0.003	0.002	0.01	0.80	
	28	0.49	*1.54	*0.008	*0.0040	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.011	0.004	1.10	0.08	
	29	0.45	1.33	0.040	*0.0311	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.012	0.007	1.25	0.14	
較	30	0.25	*0.25	0.099	0.0150	0.10	-	-	-	-	*0.310	*0.0035	-	-	-	-	0.012	0.008	-1.90	0.16	
	31	0.56	*0.32	0.056	0.0122	0.77	-	-	*0.311	*0.512	-	-	-	-	-	-	0.009	0.013	-4.13	0.26	
	32	0.43	0.89	0.032	0.0098	0.05	-	0.35	0.027	0.009	-	-	*0.31	*0.0410	-	-	0.010	0.004	0.68	*1.78	
	33	0.60	1.08	0.014	0.0220	0.69	0.50	-	-	-	0.041	0.0021	*0.34	-	*0.032	-	0.007	0.009	0.37	*1.20	
	34	0.51	1.01	0.021	0.0184	0.52	-	-	0.024	0.053	0.009	0.0009	*0.33	-	*0.045	*0.120	0.008	0.012	0.59	*1.82	
鋼	35	*0.63	0.88	0.026	0.0144	0.43	-	*0.65	-	*0.533	-	0.0003	-	*0.0131	-	-	0.009	0.004	-2.07	0.47	
	36	0.48	0.89	0.098	*0.0031	0.71	0.25	-	-	-	-	0.0021	-	*0.0120	*0.032	0.010	*0.016	0.003	0.90	0.96	

*印は本発明で定める範囲から外れていることを示す。

$$fn1=C(\%)^{1/2}+7N(\%)+60P(\%)+25S(\%)-4Al(\%)-2Cr(\%)-Mo(\%)-7Nb(\%)-6V(\%)-8Ti(\%)-50B(\%)$$

$$fn2=20S(\%)+1.5Pb(\%)+30Ca(\%)+16Bi(\%)+3Te(\%)$$

【0056】

【表4】

表 4

区分	鋼	化 学 組 成 (重量%)										残部：Feおよび不純物									
		C	Mn	Al	N	Si	Cr	Mo	Nb	V	Ti	B	Pb	Ca	Bi	Te	P	S	fn1	fn2	
比	37	0.58	1.23	0.041	0.0077	0.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.013	0.014	*1.46	0.28	
	38	0.59	0.84	0.048	0.0091	0.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.015	0.015	*1.60	0.30	
	39	0.55	1.10	0.035	0.0150	0.31	0.19	0.18	-	0.041	-	0.0004	-	-	0.017	-	0.014	0.014	*1.30	0.55	
	40	0.53	0.92	0.012	0.0247	0.18	0.19	-	0.028	-	0.015	0.0011	0.21	0.0084	-	-	0.013	0.015	*1.29	0.87	
	41	0.45	1.08	0.071	0.0218	0.54	-	-	-	-	-	-	0.15	-	0.024	0.065	0.009	0.011	0.99	*1.02	
較	42	0.55	1.46	0.095	0.0155	0.73	-	-	-	-	-	-	0.29	0.0095	0.028	-	0.009	0.011	0.95	*1.39	
	43	0.43	0.72	0.042	0.0107	0.52	0.10	-	0.008	-	0.007	0.0009	0.28	0.0077	-	0.091	0.014	0.005	1.00	*1.02	
	44	0.52	0.66	0.087	0.0204	0.41	0.18	0.40	-	-	-	-	-	0.0099	0.028	0.084	0.003	0.007	0.52	*1.14	
	45	0.45	1.20	0.035	0.0293	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*0.025	*0.031	*2.70	0.69	
	46	0.40	0.72	0.038	0.0277	0.24	1.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*0.026	*0.030	*2.61	0.60	
鋼	47	0.43	0.62	0.033	0.0201	0.33	1.02	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	*0.027	*0.028	*2.56	0.52	

*印は本発明で定める範囲から外れていることを示す。

$$fn1=C(\%)^{1/2}+7N(\%)+60P(\%)+25S(\%)-4Al(\%)-2Cr(\%)-Mo(\%)-7Nb(\%)-6V(\%)-8Ti(\%)-50B(\%)$$
$$fn2=20S(\%)+1.5Pb(\%)+30Ca(\%)+16Bi(\%)+3Te(\%)$$

【0057】次いで、これらの本発明鋼及び比較鋼を通常の方法によって160mm角の鋼片となした後、1100℃に加熱してから仕上げ温度950℃で直径30mmの丸棒に熱間鍛造し、常温まで放冷後950℃で焼準を行った。

【0058】その後、これらの供試丸棒から30mmφ×200mm長さの被削性試験用の素材、図1に示す10mm角×55mm長さで3mmRの半円ノッチを有する試験片(3点曲げ試験、シャルピー衝撃試験及び衝撃

疲労試験用)、並びに20mmφ×200mm長さの試験片(ねじり試験及びねじり疲労試験用)を切り出した。

【0059】被削性試験用の素材は、各鋼の化学成分に応じて焼戻し、又は焼入れと焼戻しを行って、中心部硬さがHv250になる様に調整し、硬度レベルを揃えて被削性試験に供した。

【0060】被削性は上記の試験片を用いて旋削試験を行い、その際の工具寿命で評価した。すなわち、超硬チ

13

ップを用いて非潤滑の下で切削スピード200mm/min、切り込み量2mm、送り0.25mm/revの切削を行い、フランク摩耗量が0.2mmとなるまでの時間を測定し、これを「工具寿命」と判定した。

【0061】被削性試験用の素材以外の前記試験片は、周波数20kHz、送り速度5mm/s、最高加熱温度900℃の条件で高周波加熱して水冷する高周波焼入れを行い、その後180℃×1hr→空冷の焼戻しを施した。

【0062】次いで、上記の高周波焼入れ・焼戻した試験片を用いて、常温におけるシャルピー衝撃試験、3点曲げ試験、ねじり試験、ねじり疲労試験及び衝撃疲労試験を行った。

【0063】3点曲げ試験は、スパン45mm、負荷速度0.05mm/sの条件で行い、試験の結果は最高荷重時の応力で評価し、これを3点曲げ強度と表記した。

【0064】ねじり試験は、ねじり角速度10°/minの条件で行った。この試験の結果は最大剪断応力で評価し、これをねじり強度と表記した。なお、最大剪断応力は測定した軸トルクの最大値から算出した。

【0065】ねじり疲労試験は、共振型ねじり試験機を用いてねじり角速度10°/min、ねじり角50°の条件で行い、破損繰返し数が100万回になる剪断応力で評価し、これをねじり疲労強度とした。

【0066】衝撃疲労試験は、図2に示す方法により試験片の上方500mmの位置から分銅を0.5Hzの条件で落下させて行った。なお、衝撃疲労特性は上記の試験の10⁵回での衝撃トルクで評価した。

【0067】更に、未使用のねじり試験片を用いて、硬化特性及び芯部のオーステナイト粒度の調査を行った。なお、硬化特性はピッカース硬度で400となる硬化層の表面からの深さを測定し、これを硬化層深さと表記した。

【0068】表5～7に試験結果を示す。

【0069】

【表5】

14
表 5

区 分	鋼	工具寿命 (分)	区 分	鋼	工具寿命 (分)	区 分	鋼	工具寿命 (分)
本 発 明	1	22.8	比 較	19	23.8	鋼	37	22.4
	2	23.0		20	18.3		38	22.7
	3	23.5		21	17.4		39	23.2
	4	22.4		22	23.8		40	23.0
	5	22.1		23	18.1		41	23.9
	6	23.1		24	22.4		42	23.7
	7	24.5		25	25.9		43	24.1
	8	24.2		26	25.4		44	25.8
	9	22.8		27	19.2		45	24.3
	10	22.7		28	18.6		46	25.1
鋼	11	22.4	鋼	29	18.4		47	22.1
	12	21.9		30	17.9			
	13	26.8		31	17.8			
	14	26.4		32	23.7			
	15	25.3		33	27.3			
	16	25.1		34	28.4			
	17	24.3		35	17.7			
	18	26.8		36	28.4			

【0070】

【表6】

15
表 6

区 分	鋼	芯部オーステナイト 粒度番号 (JIS No.)	硬化層 深さ (mm)	シャルピー 一吸収エ ネルギー (J)	3点曲 げ強度 (MPa)	ねじり 強度 (MPa)	ねじり 疲労 強度 (MPa)	衝 撃 疲 勞 トルク (kJ-m)
本 発 明 鋼	1	6.4	2.11	110	320	2320	735	3.5
	2	7.3	2.05	100	315	2305	730	3.2
	3	6.2	2.02	120	305	2245	725	3.7
	4	6.9	2.21	110	330	2350	735	3.3
	5	8.5	2.13	100	335	2350	735	3.2
	6	8.2	2.03	110	315	2310	730	3.4
	7	7.7	2.00	120	310	2215	725	3.2
	8	7.9	2.16	100	310	2220	725	3.2
	9	8.8	2.15	110	330	2340	735	3.5
	10	7.5	2.32	100	340	2390	740	3.2
	11	7.5	2.84	120	395	2485	745	3.7
	12	8.1	2.54	110	360	2470	745	3.4
	13	9.5	2.03	120	310	2215	720	3.7
	14	6.1	2.01	120	305	2150	715	3.6
	15	8.3	2.03	110	320	2345	735	3.7
	16	7.5	2.93	120	380	2480	750	3.5
	17	9.1	2.54	130	370	2440	745	3.8
	18	7.5	2.87	100	380	2390	740	3.2
比 較 鋼	19	6.5	1.87	50	245	1785	575	1.5
	20	8.4	2.14	30	255	1755	580	1.7
	21	7.4	2.15	110	315	2235	725	3.3
	22	8.6	1.91	50	255	1785	575	1.5
	23	6.9	2.13	120	340	2345	735	3.6
	24	8.1	2.08	40	245	1845	585	1.2

【0071】

【表7】

16
表 7

区 分	鋼	芯部オーステナイト 粒度番号 (JIS No.)	硬化層 深さ (mm)	シャルピー 一吸収エ ネルギー (J)	3点曲 げ強度 (MPa)	ねじり 強度 (MPa)	ねじり 疲労 強度 (MPa)	衝 撃 疲 勞 トルク (kJ-m)
本 発 明 鋼	25	7.9	2.06	20	225	1690	570	1.8
	26	*混(4.3)	2.26	40	250	1645	570	1.5
	27	*混(5.8)	2.87	20	235	1710	575	1.3
	28	*混(5.4)	2.18	20	250	1745	580	1.1
	29	6.5	2.10	110	345	2125	775	3.8
	30	*混(5.9)	1.81	40	230	1770	585	1.3
	31	*混(4.7)	1.83	30	235	1670	570	1.4
	32	7.5	2.14	20	245	1740	575	1.8
	33	6.7	2.72	20	255	1785	585	1.9
	34	7.1	2.23	30	235	1690	590	1.0
	35	*混(4.3)	2.91	30	235	1680	565	1.3
	36	*混(5.9)	2.46	40	235	1705	575	1.8
	37	6.3	2.21	30	240	1745	570	1.7
	38	7.2	2.10	20	250	1770	565	1.4
	39	8.7	2.56	30	245	1785	585	1.2
	40	8.3	2.10	20	240	1745	555	1.1
	41	7.8	2.08	30	245	1720	535	1.3
	42	7.8	2.21	20	235	1720	575	1.1
比 較 鋼	43	6.5	2.20	10	240	1700	580	1.1
	44	9.1	2.31	10	240	1676	545	1.0
	45	6.8	2.08	10	220	1555	535	1.0
	46	7.3	2.26	10	220	1585	540	1.0
	47	8.4	2.47	20	245	1540	555	1.0

*印は本発明で定める条件から外れていることを示す。

混(4.3)は混粒で、総合判定した粒度番号が4.3であることを示す。

【0072】表5からは、本発明鋼である鋼1～18は良好な被削性を有することが明らかである。又、表6から本発明鋼である鋼1～18は、高周波焼入れ後の硬化層深さは2mm以上あり、又、芯部オーステナイト結晶粒度はいずれも本発明の規定を満足する。そして、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度（衝撃疲労トルク）のすべてにおいて、すなわち、耐曲げ性・耐ねじり性・耐衝撃性に優れていることが明らかである。

【0073】これに対して、比較鋼19～47の場合には、被削性、高周波焼入れ後の硬化層深さ、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度の少なくとも1つにおいて不劣である。

【0074】鋼19は、C含有量が本発明で規定する値より低いため、焼入れ性が低くなって所望の硬化層深さが得られず、更に、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度

も低い(表6)。

【0075】鋼20は、C含有量が本発明で規定する値より高いため、被削性が悪い(工具寿命が短い)ことに加えて、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表5及び6)。

【0076】鋼21は、Si含有量が本発明で規定する値より高いため、被削性が悪い(表5)。

【0077】鋼22は、Mn含有量が本発明で規定する値より低いため、所望の硬化層深さが得られず、更に、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度も低い(表6)。

【0078】鋼23は、Mn含有量が本発明で規定する値より高いため、被削性が悪い(表5)。

【0079】鋼24は、P含有量が本発明で規定する値より高いため、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表6)。

【0080】鋼25は、S含有量が本発明で規定する値より高いため、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表7)。

【0081】鋼26は、Al含有量が本発明で規定する値より低く、芯部オーステナイト粒は粒度番号で4.3番の混粒となっている。このため、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表7)。

【0082】鋼27は、Al及びCaの含有量が本発明で規定する値より高く、芯部オーステナイト粒も粒度番号で5.8番の混粒となっている。このため、被削性が悪く、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値も低い(表5及び7)。

【0083】鋼28は、Mnの含有量が本発明で規定する値より高く、一方、Al及びNの含有量が本発明で規定する値より低い。このため、芯部オーステナイト粒は粒度番号で5.4番の混粒で、被削性が悪く、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値も低い(表5及び7)。

【0084】鋼29は、Nの含有量が本発明で規定する値より高いため、被削性が悪い(表5)。

【0085】鋼30は、Mn含有量が本発明で規定する値より低く、一方、Ti及びBの含有量が本発明で規定する値より高い。このために焼入れ性が却って低くなってしまい、所望の硬化層深さが得られていない。更に、芯部オーステナイト粒も粒度番号で5.9番の混粒であり、被削性が悪いことに加えて、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値も低い(表5及び7)。

【0086】鋼31は、Mn含有量が本発明で規定する値より低く、一方、Nb及びVの含有量が本発明で規定する値より高い。このために焼入れ性が低く、所望の硬化層深さが得られていない。更に、芯部オーステナイト粒も粒度番号で4.7番の混粒であり、被削性が悪いことに加えて、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値も低い(表5及び7)。

【0087】鋼32は、Pb及びCaの含有量が本発明で規定する値より高く、しかもfn2の値が本発明で規定する値より高い。このため、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表7)。

【0088】鋼33は、Pb及びBiの含有量が本発明で規定する値より高く、しかもfn2の値が本発明で規定する値より高い。このため、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表7)。

【0089】鋼34は、Pb、Bi及びTeの含有量が本発明で規定する値より高く、しかもfn2の値が本発明で規定する値より高い。このため、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表7)。

【0090】鋼35は、C、Mo、V及びCaの含有量が本発明で規定する値より高く、芯部オーステナイト粒も粒度番号で4.3番の混粒となっている。このため、被削性が悪く、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値も低い(表5及び7)。

【0091】鋼36は、N含有量が本発明で規定する値より低い。一方、Ca、Bi及びPの含有量は本発明で規定する値より高く、芯部オーステナイト粒も粒度番号で5.9番の混粒となっている。このため、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表5及び7)。

【0092】鋼37～40は、fn1の値が本発明で規定する値より高く、粒界強度が著しく低下するので、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表7)。

【0093】鋼41～44は、fn2の値が本発明で規定する値より高く、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表7)。

【0094】鋼45～47は、P及びSの含有量、並びにfn1の値が本発明で規定する値より高い。このため、粒界強度が著しく低下するので、シャルピー吸収エネルギー、3点曲げ強度、ねじり強度、ねじり疲労強度及び衝撃疲労強度のすべての値が低い(表7)。

【0095】（実施例2）前記の表1に記載した鋼1と11（いずれも本発明鋼）の熱間鍛造後に常温まで放冷した30mm丸棒に1000℃と1100℃で焼準を施した。

【0096】次いで、これらの供試丸棒から図1に示す10mm角×55mm長さで3mmRの半円ノッチを有する試験片（3点曲げ試験、シャルピー衝撃試験及び衝撃疲労試験用）並びに20mmφ×200mm長さの試験片（ねじり試験及びねじり疲労試験用）を切り出した。こうして得た試験片に実施例1と同じ条件で高周波*10

表 8

区分	焼準鋼	温度 (℃)	芯部オーステナイト 粒度番号 (JIS No.)	硬化層 深さ (mm)	シャルピー 一吸収エネルギー (J)	3点曲 げ強度 (MPa)	ねじり 強度 (MPa)	ねじり 疲労 強度 (MPa)	衝 撃 疲 労 強 度 トルク (kN-m)
比	1	1000	* 5.8	2.25	30	280	2055	625	2.4
比	1	1100	* 4.7	2.31	20	245	1780	575	1.5
本	11	1000	6.2	2.97	100	350	2120	710	3.1
比	11	1100	* 5.1	2.99	40	275	1895	665	1.9

区分欄において「比」は比較例、「本」は本発明例を示す。
*印は本発明で定める範囲から外れていることを示す。

*焼入れ・焼戻しを施し、その後実施例1と同じ方法で常温におけるシャルピー衝撃試験、3点曲げ試験、ねじり試験、ねじり疲労試験、衝撃疲労試験を行い、更に、硬化特性及び芯部のオーステナイト粒度の調査を行った。

【0097】表8に試験結果を示す。表8から本発明鋼を用いても芯部オーステナイト結晶粒度が本発明で規定する値を外れると各種の機械的性質が劣化することが明らかである。

【0098】

【表8】

【0099】

【発明の効果】本発明の高周波焼入れ部品は耐曲げ性、耐ねじり性及び耐衝撃性に優れているので、自動車や産業機械用の歯車やシャフト類など機械構造用部品として利用することができる。この高周波焼入れ部品は本発明の高周波焼入れ用鋼を素材として比較的容易に得られるため産業上の効果は大きい。

【図面の簡単な説明】

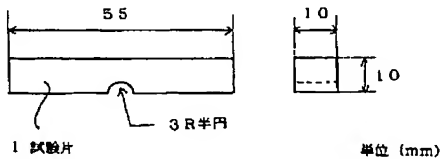
【図1】常温でのシャルピー衝撃試験、3点曲げ試験及び衝撃疲労試験に用いた試験片の説明図である。

【図2】衝撃疲労試験方法の説明図である。

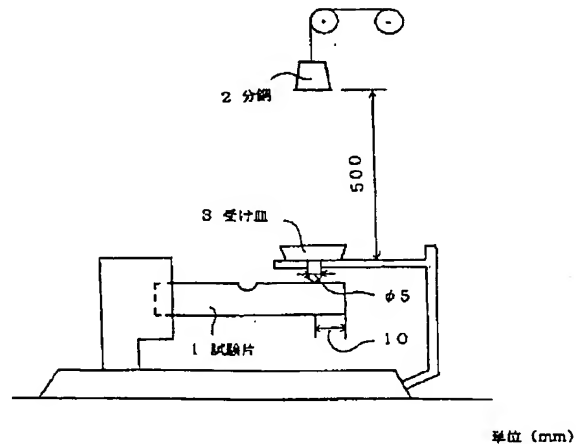
【符号の説明】

1：試験片、2：分銅、3：受け皿

【図1】



【図2】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.